

# **CAPÍTULO XIII**

## **HUMIDADE EM CONSTRUÇÕES ENTERRADAS**

## 13.1 INTRODUÇÃO

Actualmente, uma obra de construção civil é um empreendimento complexo, que necessita da participação de múltiplos especialistas. A cada fase da obra (fundações, estruturas em betão armado, paredes, acabamentos...) corresponde um processo, um dimensionamento particular, conforme o local da obra e as características climáticas e geotécnicas.

A primeira fase de qualquer edifício consiste na implantação das fundações, isto é, procede-se à realização da estrutura enterrada que irá suportar todo o edifício, podendo-se igualmente encontrar construções enterradas (garagens, caves...). Estes tipos de estruturas estão sujeitas a um perigo comum que é a humidade. Efectivamente, um dos problemas mais graves ao qual estão sujeitas as construções enterradas é a humidade.

As construções enterradas, além de serem dimensionadas para os esforços aos quais estão submetidos, têm que ser totalmente protegidos da humidade através de dispositivos de impermeabilização e protecção eficazes e à prova de pressão.

## 13.2 A PROVENIÊNCIA DA ÁGUA

A água manifesta-se de diversas maneiras mas, no caso das construções enterradas, a mais importante é a água presente no solo. A água presente no subsolo é definida como o “conjunto de águas que aparecem neste sob as mais diversas formas e que são retidas por diferentes forças físicas”. Esta tem, efectivamente, as mais diversas origens, entre as quais: águas subterrâneas (ou freáticas), águas da chuva, neve, orvalho, etc.

### ➤ Águas de precipitação:

Estas águas são o resultado da infiltração no solo de: água da chuva, neve, orvalho, nevoeiro... Nas aglomerações de hoje em dia, a maioria destas águas é escoada através de tubos para o mar, cursos de água ou para redes de esgotos. A outra parte, que é absorvida pelo solo, tem diversos destinos. Um deles toma a designação de “ciclo da água”, e consiste na absorção da água pelas raízes das plantas, seguida da sua expulsão via os mecanismos das plantas (sob forma de vapor de água) e volta a cair sobre forma de água de precipitação. Por outro lado, outra parte dessa água infiltra-se no subsolo e comporta-se, a partir daí, como se fosse água subterrânea, indo em direcção ao mar, cursos de água ou acumula-se nas camadas de água subterrânea, chamadas “camadas freáticas”.

### ➤ Águas subterrâneas:

Estas águas são constituídas pelas partículas de água que conseguiram infiltrar-se até às camadas mais profundas e impermeáveis, acumulando-se, formando toalhas de água interligadas. O nível destas águas pode variar conforme a estação, as condições climáticas, e conforme o tipo de solo. Este último ponto é muito importante porque, dependendo da permeabilidade do solo, isto é, da facilidade com que a água se escoar nesse solo, o nível das águas vai manter-se a uma certa altura um certo tempo. Num terreno argiloso, o escoamento das águas faz-se mais dificilmente do que num terreno arenoso. Acontece, portanto, que o nível das águas freáticas leva mais tempo a baixar num terreno argiloso, e por isso mesmo, fica mais tempo a um nível superior ao que ficaria num terreno arenoso.

Tendo as águas subterrâneas um comportamento como o que acabou de ser descrito, estas podem manifestar-se de diversas maneiras, entre as quais se podem citar as seguintes: água de capilaridade, água de condensação, água suspensa e água acumulada.

As duas últimas correspondem a uma acumulação de água entre e sobre camadas de solo impermeável, respectivamente.

A água de condensação corresponde à condensação do vapor de água contido nos poros do solo, visto o solo ser um sistema de três fases, constituído por partículas sólidas, ar e água.

A água de capilaridade apresenta-se nos solos cujos poros são de pequena dimensão (solos argilosos). As tensões entre a água e as partículas sólidas são de tal maneira que fazem com que a água se movimente no sentido ascendente, em oposição à força de gravidade.

### 13.3 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

A generalidade dos materiais utilizados na construção civil é constituída por materiais naturais (argila, areia, granitos, calcários...). A utilização destas matérias primas naturais confere inúmeras qualidades mas igualmente vários defeitos, que serão analisados seguidamente, e que permitirão explicar a aparição da humidade. A maioria das construções são executadas em betão armado, com as paredes executadas geralmente em alvenaria.

➤ **Características dos materiais de construção:**

*As alvenarias podem ser constituídas por:*

- Blocos de tijolo furado (mistura de argila e água)
- Blocos de cimento (mistura de ligante, inerte e água)
- Pedra natural (granito, mármore...)

*O betão armado é constituído por:*

- Ligante (geralmente cimento)
- Inertes (areia, brita...)
- Água
- Armaduras de aço

As propriedades essenciais destes materiais são, geralmente, as suas resistências á compressão e tracção mas, igualmente, resistência às agressões químicas, às variações de temperatura, às infiltrações de água... Duas características desses materiais que são relativas às propriedades enunciadas anteriormente são: a *permeabilidade* e a *porosidade*.

A *porosidade* diz respeito à quantidade de poros no material (exemplo da pedra pomes). Pode-se também falar de porometria de um material, que diz respeito à distribuição da dimensão dos poros (diferente de quantidade).

*A porosidade advém:*

- Das quantidades de ligante, inerte e de água utilizados no fabrico do betão;
- De uma mistura inadequada, podendo resultar em deficiências que causam a formação de poros;
- Da evaporação da água, durante a cura dos materiais, utilizada em excesso no fabrico dos elementos construtivos (questões de trabalhabilidade em obra)
- Da formação e evaporação de bolhas de ar, consequência das reacções do ligante com a água utilizada na amassadura
- Há duas formas de porosidade:
- Porosidade aberta, cujos poros estão em contacto com o exterior
- Porosidade fechada, constituída por conjuntos de poros fechados, isto é, não comunicantes com o exterior

A *permeabilidade* é a capacidade que um material tem de se deixar atravessar pela água. Quanto mais permeável, mais fácil é a passagem do líquido. Esta manifesta-se por fissuras ou fracturas presentes nos materiais de construção (blocos, tijolos, betão...).

Há também que sublinhar que porosidade e permeabilidade não são propriedades interligadas, isto é, pode-se ter um material muito poroso mas impermeável e, pelo contrário, um material pouco poroso (compacto) mas altamente permeável. Basta que apareçam fissuras para o material demonstrar problemas de impermeabilidade.

➤ **Procedimentos de construção:**

O responsável de uma empreitada deve zelar pela qualidade da construção que está a efectuar. Infelizmente, a falta de legislação e as pressões financeiras em jogo neste tipo de empreendimento fazem com que muitas vezes a obra não seja efectuada convenientemente.

A presença da humidade nas obras de engenharia civil deve-se essencialmente a uma construção deficiente. Esta situação pode surgir quando:

- Os blocos e tijolos são colocados sem terem a quantidade de argamassa suficiente para se solidarizarem uns aos outros ou são colocados já quebrados ou tortos
- O betão utilizado não foi obtido a partir de um estudo da sua composição, ou foi fabricado com quantidades inadequadas dos seus constituintes, foi mal vibrado/compactado, a sua cura foi

mal efectuada (temperaturas inadequadas, tempo de cofragem insuficiente...), ou não tem os adjuvantes necessários

- Recobrimento insuficiente das armaduras
- Ausência ou defeito de isolamentos
- Existem “ninhos de britas” criados pelas armaduras, muito comum quando não se faz um bom estudo da composição do betão, originando volumes de vazios devido a uma acumulação de inertes que o ligante não consegue preencher
- Má avaliação das condições geotécnicas, climatéricas

### 13.4 COMO ATACA A HUMIDADE?

As estruturas enterradas estão sujeitas aos dois principais ataques de humidade:

- Infiltração directa
- Ascensão por capilaridade

No primeiro caso, a humidade penetra lateralmente pela parede, infiltrando-se directamente nas estruturas e materiais. No segundo caso, a humidade sobe pelas fundações do edifício, podendo atingir alturas consideráveis, dependendo do nível das águas freáticas e das características da estrutura atingida.

Estas formas de ataque da humidade estão intimamente ligadas às características dos materiais. Nos casos de infiltração directa, como a água desce unicamente submetida à força da gravidade, a água vai-se introduzir em materiais com uma porosidade aberta mas, principalmente, nas fissuras e fendas presentes nas fachadas expostas.

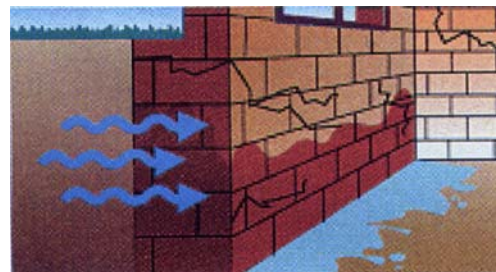
No caso de ascensão capilar, a humidade é absorvida pela estrutura enterrada. Isto acontece nas partes mais baixas do edifício (fundações). Esta situação depende muito da porosidade das peças enterradas, e principalmente da porosidade aberta. Efectivamente, a ascensão capilar só acontece em locais de porosidade elevada e constituída por poros com pequena dimensão.

As águas de precipitação participam, exclusivamente, para a saliência de infiltrações directas de humidade. As águas subterrâneas são as responsáveis pela humidade de ascensão capilar mas, igualmente, por infiltrações directas. Efectivamente, isso acontece devido à possibilidade do nível das águas freáticas se poder manter muito alto por bastante tempo, suficiente para a água chegar a infiltrar-se por possíveis fendas.

Nas imagens seguintes estão esquematizadas as principais hipóteses de infiltração das águas nas construções enterradas.



Infiltração através dos poros do betão ou do material constituinte da parede.



Infiltração devido à presença de fissuras nas paredes.



Deterioração das telas protectoras (asfálticas) devido à pressão da água.



Destruição do recobrimento do betão devido à oxidação, e respectivo aumento de volume, das armaduras de aço.

Figura XIII.1 – Principais causas de infiltração em construções enterradas.

### 13.5 PORQUE RAZÕES SURGE A HUMIDADE?

A água, elemento presente em dois terços do globo, torna a sua presença inevitável em zonas de construção. A necessidade de escavação para a realização de estruturas e o seu equilíbrio leva a penetrar em camadas de solo susceptíveis de acumularem água.

A humidade não é representada unicamente pelo elemento químico  $H_2O$ . Pode conter em associação química outros elementos nocivos para as construções. O efeito de transporte que a água tem, permite a circulação em conjunto com ela de outras partículas, desde areias, a bactérias ou micro partículas.

Um técnico tem sempre que esperar encontrar humidade nos terrenos de construção, prevendo desde o início soluções eficazes para a protecção das suas construções.

### 13.6 CONSEQUÊNCIAS DA HUMIDADE

A humidade causa diversos problemas aos elementos enterrados de uma construção. Estes podem ser de natureza estrutural, estética ou podem até causar problemas de saúde. As consequências de um ataque de humidade podem-se resumir às seguintes:

- a) Ataque e corrosão das armaduras
- b) Ataque e degradação do betão
- c) Aparecimento de manchas de salitre nas fachadas interiores
- d) Degradação e inundação das lajes, e respectivos revestimentos
- e) Perigo para a saúde

Devido à origem das águas prejudiciais às construções enterradas (solo), é evidente que estas podem ser eventuais transportadoras de partículas nocivas para o betão, assim como para as armaduras de aço.

**a) A deterioração das armaduras dá-se pelas seguintes causas:**

(entre outras causas menos frequentes)

- Acção dos iões cloreto ( $Cl^-$ ), presentes na água do mar e em alguns sais descongelantes. Estes iões deterioram as armaduras destruindo a película passivante dessas armaduras
- Carbonatação, pela acção do dióxido de carbono e acção de outros agentes corrosivos

**b) A deterioração do betão é obtida, entre outras, por:**

- Ciclos de gelo e degelo. Isto é muito importante nos países com grandes diferenças de temperatura (países nórdicos) onde a água dentro do betão gela, e por isso, aumenta de tamanho, o que origina fissuras que, a longo prazo, podem tomar proporções substanciais
- Acção de sulfatos e de outros agentes quimicamente agressivos presentes nas águas subterrâneas (dióxido de carbono, iões magnésio, nitratos...)
- Acção do pH do solo (pH ácido é perigoso)

**c) Manchas de salitre e degradação dos revestimentos das fachadas:**



O aparecimento de manchas de salitre nas paredes deve-se ao seguinte facto: a água é transportadora de sais. Esses sais infiltram-se nos poros do betão e nos orifícios dos blocos, depositando-se nestes. Com o tempo, o contacto com a humidade faz com que estes sais acabem degradando e fragilizando as paredes e seus revestimentos, tornando-os elementos fracos e desnaturalizados.

Figura XIII.2 – Patologia em revestimento de parede por ascensão capilar de água.

#### **d) degradação e inundação das lajes, e respectivos revestimentos**

A água subterrânea pode, eventualmente, irromper por baixo das lajes, inundando assim o piso, rebentando com qualquer revestimento de que a laje estivesse coberta. (ver figura em baixo)



Figura XIII.3 – Excesso da água em pavimento por inexistência ou deficiente funcionamento do sistema de drenagem

#### **e) perigo para a saúde**

A presença de humidade nas construções pode causar igualmente certos problemas de saúde pois, com a humidade, surgem de micro organismos que podem ser nocivos.

### **13.7 SOLUÇÕES DE PROTECÇÃO DAS CONSTRUÇÕES ENTERRADAS**

Um betão dimensionado para resistir a acções mecânicas não tem, frequentemente, um desempenho igual no que respeita à resistência às acções agressivas ambientais.

Na maioria dos casos, a corrosão das armaduras resulta da agressividade ambiental associada a uma inadequada qualidade do betão de recobrimento.

A resistência às acções agressivas também depende da colocação, compactação, cura e protecção do betão.

As três afirmações precedentes comentam sumariamente porque razões as estruturas em betão armado não são totalmente eficazes contra as agressões agressivas e, em particular, contra a humidade.

Depois da análise das causas e consequências que a humidade traz para as construções, e especialmente para as construções enterradas, é necessário proceder à implementação de dispositivos que permitam impedir a influência e/ou o contacto entre as construções e a água.

Uma protecção dos edifícios eficaz contra a humidade tem que ter as seguintes funções:

- 1) Afastar as águas da periferia das construções
- 2) Protecção superficial das fachadas expostas
- 3) Protecção dentro dos próprios materiais, ao nível do betão
- 4) Protecção dentro dos próprios materiais, ao nível das armaduras

#### **1) Afastar as águas da periferia das construções**

Criação e instalação de sistemas de drenagem de águas. Prever igualmente, se necessário, um sistema de rebaixamento do nível freático.

Os primeiros sistemas funcionam de maneira a evitar que as águas de infiltração (chuva, neve...) atinjam as estruturas. Geralmente, constam de uma tubagem perfurada colocada junto à sapata e envolto em material granular. Este último permite a drenagem das águas em direcção ao tubo de escoamento. É geralmente envolto num geotêxtil para impedir que possíveis finos arrastados pelas águas não se introduzam nos tubos.

Os sistemas de rebaixamento do nível freático consistem na criação de um sistema de tubagens instalado à cota a que se deseja que permaneçam as águas do nível freático. Isto visa impedir o acesso das

águas subterrâneas às zonas mais baixas e resistentes da estrutura, isto é, as sapatas. Portanto, impede a possibilidade de aparecer água de capilaridade nas construções.

Um dos maiores problemas dos sistemas de drenagem é a possibilidade de uma má concepção poder arrastar com as águas os finos presentes nas camadas granulares e no solo. Isto tem diversas consequências muito graves:

- Ao arrastar esses finos, estes podem obstruir as aberturas dos tubos de drenagem, impedindo o seu correcto funcionamento
- A drenagem das águas de nível freático faz-se colocando os tubos abaixo da cota de implantação das sapatas portanto, o arrastamento de finos do solo no qual estão situadas as sapatas pode provocar assentamento diferenciais que podem provocar a fractura de lajes e paredes

Para superar estas dificuldades, os tubos de drenagem são colocados envoltos em material geotêxtil que tem por função filtrar as águas que vão para os drenos, retirando o material fino, impedindo-o de entrar na tubagem. (ver esquema)

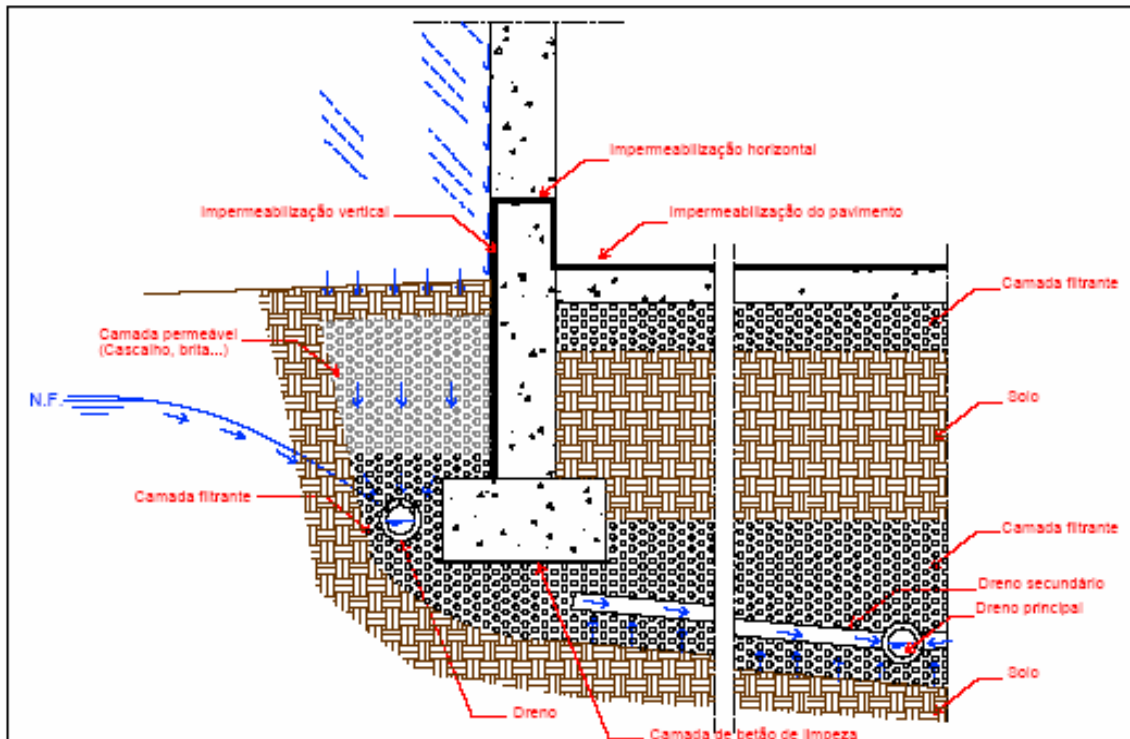


Figura XIII.4 – Rebaixamento do nível freático com drenos

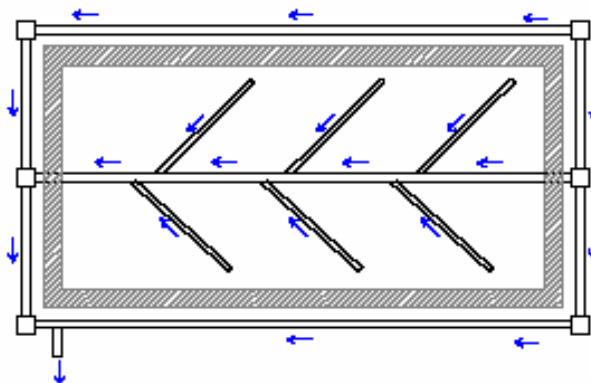


Figura XIII.5 – Sistema de drenagem de águas freáticas. As setas indicam o sentido de escoamento

## 2) Protecção superficial das fachadas expostas

Este tipo de impermeabilização consiste em dotar as fachadas enterradas e as sapatas de camadas viscosas protectoras, de materiais poliméricos ou de outro qualquer produto que satisfaça as seguintes características:

- Não reagir com a água
- Possuir resistência para suportar as pressões no local (pressão hidrostáticas e do terreno)
- Não reagir quimicamente com os elementos do betão
- Possuir significativa longevidade

Visto as características que os protectores a utilizar devem possuir no mínimo, a sua colocação em obra deve igualmente ser cuidadosa de maneira a que estas características se possam verificar pelo tempo previsto. A sua distribuição deve ser estrategicamente determinada de maneira a que:

- A sua instalação não seja demasiado dispendiosa
- A sua quantidade e disposição não tenha efeitos contrários aos estabelecidos

Dentro das soluções disponíveis no mercado, as mais comuns adoptadas em obra são as de colocar camadas impermeabilizantes. Podem-se citar os seguintes exemplos:

- Reboco das paredes com uma argamassa muito compacta
- Utilização de camadas pintadas com asfalto ou outro género de mistura betuminosa (o betume é um produto reconhecido pelas suas características impermeabilizantes)
- Utilização de pinturas ou vernizes impermeabilizantes ou com certas características especiais (recentemente tem-se utilizado uma tinta impermeabilizante que tem o seguinte funcionamento: dá-se a formação de cristais não solúveis no interior dos poros do betão, o que permite o enchimento dos vazios do betão com um produto inalterável pela água)
- Placas feitas de materiais poliméricos



Local para espalhar uma camada impermeabilizante

Figura XIII.6 – Parede de betão armado não impermeabilizada



Os esquemas apresentados a seguir mostram como se devem colocar essas camadas protectoras de forma a que possam garantir o seu funcionamento de uma maneira eficaz.

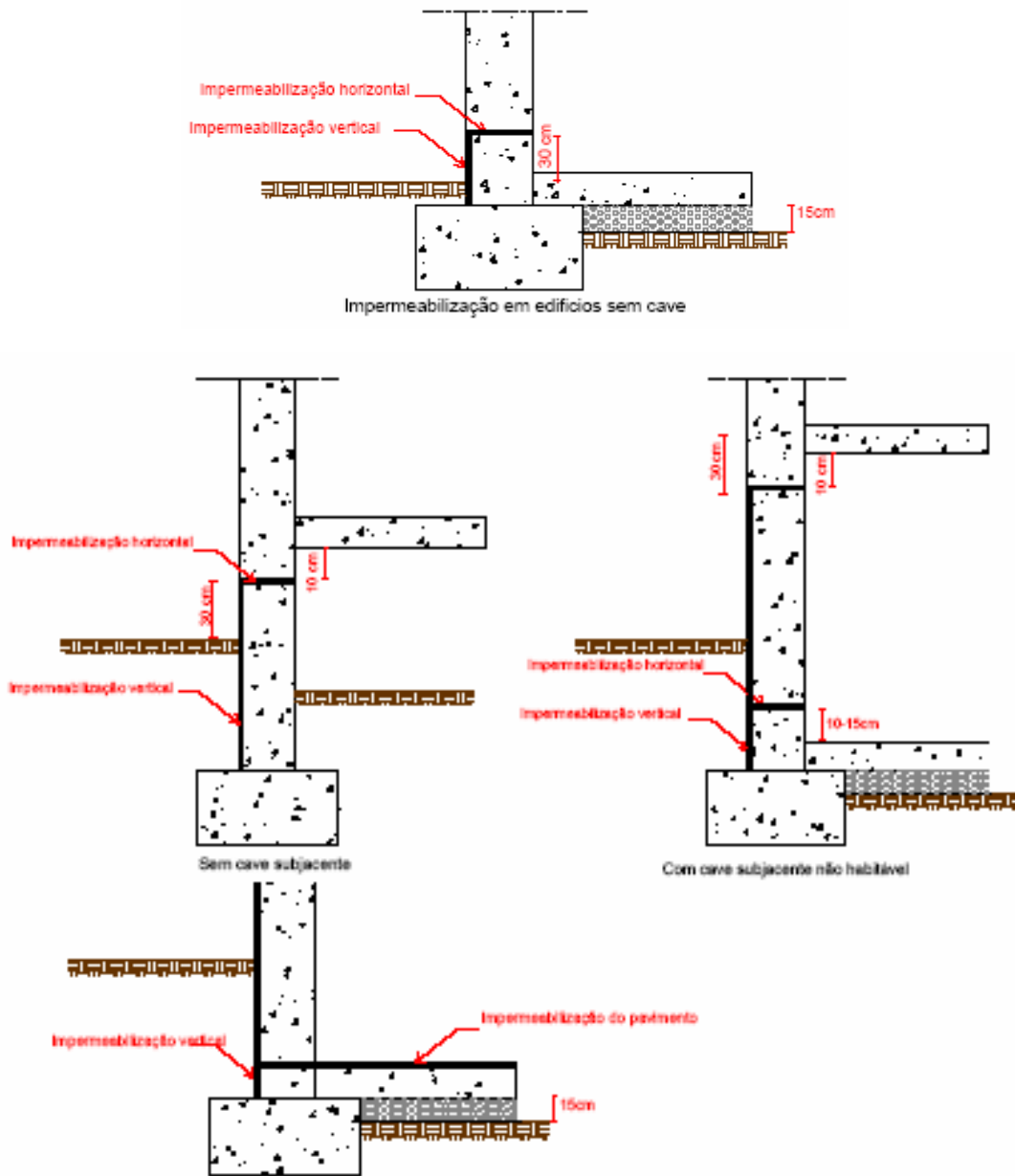


Figura XIII.6 – Impermeabilização de paredes em edifícios.

Estes quatro casos reflectem a generalidade de construções enterradas (casos em que a parte enterrada pode ser habitável ou não).

Há que notar que todos os cortes possuem uma camada interna horizontal impermeável, que serve para parar as águas de nível freático, impedi-las de subir muito na estrutura.

### 3) Protecção ao nível dos próprios materiais, ao nível do betão

Este terceiro tipo de protecção consiste na introdução dentro da própria amassadura do betão de produtos destinados a melhorar as características deste. Os produtos que se misturam ao betão tendo em vista o melhoramento do seu desempenho designam-se por: *adjuvantes e aditivos*.

Os adjuvantes são materiais que se utilizam em muito pequena quantidade, os aditivos são materiais inorgânicos, finamente divididos e que são adicionados na amassadura ou cimenteira. Este tipo de produto tem algumas vantagens em relação aos produtos de aplicação externa, tais como:

- Impermeabilização simplificada

- Mão de obra menor, e de certo modo mais barata
- Execução mais rápida

A utilização destes produtos requer igualmente alguns cuidados, um deles essencial, que é a proporção a utilizar. Como já foi dito, a sua quantidade tem que ser muito pequena (da ordem dos 0,1 a 0,3%) pois uma sobredosagem, além de custar mais, provoca uma diminuição da resistência do betão, que pode chegar a ser muito significativa e pode por em risco toda a estrutura.

Há adjuvantes e aditivos para todo o tipo de aplicações mas, no caso em estudo, os que interessam são os chamados *hidrófugos de massa*. Estes são adjuvantes cuja função principal é a de *impermeabilizar*. A origem química destes adjuvantes é diversa: produtos extraídos das algas, estearatos, silicatos, fluorsilicatos, sabões, pozolana, etc.

Actualmente, existem adjuvantes (em pó e líquidos) que, misturados ao betão fazem com que este “plastifique”, possibilitando uma menor percentagem de vazios.

Um técnico não se pode esquecer que a protecção oferecida pela utilização de produtos desta espécie não garante uma impermeabilização total, devendo este, utilizar processos protectores em conjunto para que as construções enterradas tenham uma boa protecção.

### 1) Protecção ao nível dos próprios materiais, ao nível do betão (2)

A utilização de betão armado nas construções pressupõe a utilização de armaduras em aço. Ora, a humidade também é susceptível de atacar esses órgãos essenciais, pelo que é necessário recorrer a dispositivos de protecção próprios além dos que já foram indicados para a protecção do betão.

A reacção mais comum das armaduras em aço em contacto com a água é o aparecimento de uma camada avermelhada de óxido de ferro, vulgarmente chamada por “ferrugem”. Este fenómeno designa-se por corrosão das armaduras e consiste na reacção entre a água e a camada superficial das armaduras. O aço é assim corroído, isto é, dá-se a formação de óxido de ferro e ao mesmo tempo a secção da armadura diminui, o que diminui igualmente a sua resistência. Além do mais, este fenómeno é expansivo. Portanto, a oxidação das armaduras faz com que a secção destas aumente substancialmente, o que faz com que possa acontecer a rotura da camada de recobrimento de betão, expondo perigosamente as armaduras à humidade.

As soluções adoptadas para fazer face a esse tipo de fenómeno são as seguintes:

- Utilização de inibidores de corrosão
- Utilização de revestimentos metálicos não corrosivos (ex.: uso de banhos de zinco) ou orgânicos
- Uso de armaduras em aço inoxidável ou em fibras de carbono
- Utilização de métodos electro-químicos para prevenção catódica das armaduras

A maioria dos métodos propostos baseia-se na aplicação de uma camada protectora envolvendo a armadura.

A utilização da zincagem (camada de zinco) permite que seja o zinco a reagir com a humidade em vez de isso acontecer com o aço. Essa reacção provoca a oxidação do zinco mas, o produto formado tem as vantagens de não ser expansivo e de formar igualmente uma camada protectora.

A utilização de armaduras em aço inoxidável é uma boa solução porém não possui unicamente vantagens:

- É uma armadura mais leve
- É mais fácil de dobrar
- Dobrado, pode criar-se pontos onde a corrosão possa atacar
- É mais caro

Por outro lado, a utilização de armaduras em fibras de carbono também é uma solução viável visto este material não sofrer de corrosão. A sua possível introdução está a ser investigada mas deparam-se diversos problemas entre os quais a sua duração, hipoteticamente muito inferior à do aço.

## 13.8 CONCLUSÃO

A presença da humidade nas construções enterradas será sempre um problema ao qual o engenheiro civil se deverá confrontar onde quer que seja o local da obra. A protecção das construções contra esse fenómeno é fundamental, a protecção dos elementos enterrados é crucial visto que a sua importância para o equilíbrio e resistência global do edifício é preponderante. Porém, o seu estudo não é preciso, sendo necessário que o engenheiro saiba ponderar os prós e os contras de maneira a que a solução escolhida não se torne eficaz em pouco tempo. A gravidade do fenómeno foi demonstrada e as soluções de combate foram apresentadas.

Actualmente, o grande conhecimento desse fenómeno e a investigação cada vez mais intensa, permite a adopção de meios, processos e materiais cada vez mais eficazes.